

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-035699

(43)Date of publication of application : 09.02.2001

(51)Int.Cl.

H05H 1/46
H01L 21/3065

(21)Application number : 11-205262

(71)Applicant : DAIHEN CORP

(22)Date of filing : 19.07.1999

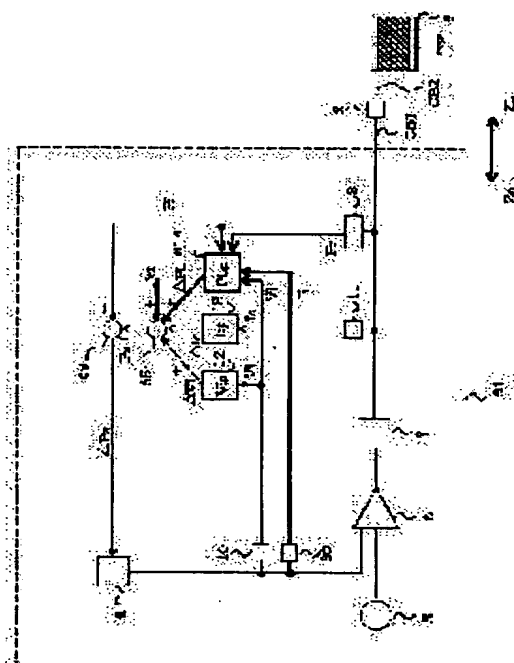
(72)Inventor : UCHI TOSHIHIRO
NISHIMORI YASUHIRO
ONO TATSUKI

(54) PROTECTION METHOD FOR PLASMA GENERATING HIGH FREQUENCY POWER SUPPLY AND POWER SUPPLY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily calculate a loss power protecting level without performing experiment, inhibit a progressive-wave power in a sufficiently required range and protect a switching element against heat generation.

SOLUTION: This high frequency power supply includes an excessive loss power protecting circuit 614 for computing a power amplifier loss power PL from a DC voltage detection signal Vi, a DC current detection signal Ii, a progressive-wave power detection signal Pf and a reflected-wave power detection signal Pr and computing a loss power subtraction signal ΔPL (<0) when the power amplifier loss power PL exceeds a power amplifier loss power protecting level PLp, and a progressive-wave power set value/detection value comparing circuit 69 for adding the loss power subtraction signal ΔPL (<0) to a signal Ps-Pf obtained by subtracting the progressive-wave power detection signal Pf from the progressive-wave power set signal Ps to inhibit a progressive-wave power error signal ΔPs to be $Pf - Ps + \Delta PL$ and inhibit progressive-wave power, whereby a heating value for a power amplifier 6 is inhibited.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-35699

(P2001-35699A)

(43) 公開日 平成13年2月9日(2001.2.9)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

テマート(参考)

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

R 5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-205262

(22) 出願日 平成11年7月19日(1999.7.19)

(71) 出願人 000000262

株式会社ダイヘン

大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号

(72) 発明者 内 俊裕

大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内

(72) 発明者 西森 康博

大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内

(74) 代理人 100082957

弁理士 中井 宏

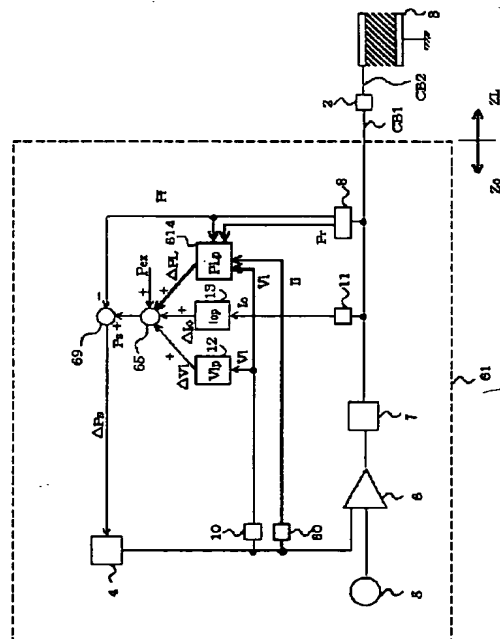
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ発生用高周波電源装置の保護方法及び電源装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 実験を行わずに損失電力保護レベルを容易に計算し、必要十分な範囲で進行波電力を抑制し、スイッチング素子を発熱から保護できるプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法及び電源装置を提供する。

【解決手段】 DC電圧検出信号 V_i 及びDC電流検出信号 I_i 及び進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r よりパワーアンプ損失電力 P_L を演算し、パワーアンプ損失電力 P_L がパワーアンプ損失電力保護レベル P_{Lp} を超過したとき損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を演算する手段からなる超過損失電力保護回路 614 と、進行波電力設定信号 P_s から進行波電力検出信号 P_f を減算した信号 $P_s - P_f$ に損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を加算することによって進行波電力誤差信号 ΔP_s を $P_f - P_s + \Delta P_L$ に抑制し進行波電力を抑制する進行波電力設定値・検出値比較回路 69 によってパワーアンプ 6 の発熱量を抑制する。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項 1】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置に対する保護方法において、DC 電圧及び DC 電流及び進行波電力及び反射波電力を検出し、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とからパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに負の信号である損失電力減算信号を演算し、前記損失電力減算信号を外部設定信号に加算して前記進行波電力設定信号を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法。

【請求項 2】請求項 1 に記載の損失電力減算信号が、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号との積である DC 電力信号を演算し、進行波電力検出信号から反射波電力検出信号を減算して高周波出力電力信号を演算し、前記 DC 電力信号から前記高周波出力電力信号を減算してパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに出力する負の信号であるプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法。

【請求項 3】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置に対する保護方法において、DC 電圧及び DC 電流及び進行波電力及び反射波電力及び共振電流を検出し、DC 電圧検出信号が DC 電圧保護レベルを超過したとき負の信号である DC 電圧減算信号を演算し、共振電流検出信号が共振電流保護レベルを超過したとき負の信号である共振電流減算信号を演算し、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とからパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに負の信号である損失電力減算信号を演算し、前記損失電力減算信号又は前記 DC 電圧減算信号又は前記共振電流減算信号を外部設定信号に加算して前記進行波電力設定信号を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法。

【請求項 4】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置において、DC 電圧を出力する DC 電圧検出回路と、DC 電流を出力する DC 電流検出回路と、進行波電力と反射波電力とを検出する高周波電力検出回路と、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とからパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに負の信号である損失電力減算信号を演算する超過損失電力保護回路と、前記損失電力減算信号を外部設定信号に加算して

前記進行波電力設定信号を抑制する減算信号加算回路とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置。

【請求項 5】請求項 4 に記載した超過損失電力保護回路が、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号との積である DC 電力信号を演算する DC 電力演算回路及び進行波電力検出信号から反射波電力検出信号を減算して高周波出力電力信号を演算する高周波出力電力演算回路及び DC 電力信号から高周波出力電力信号を減算してパワーアンプ損失電力を演算する損失電力演算回路及びパワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに負の信号である損失電力減算信号を演算する超過損失電力演算回路から構成されるプラズマ発生用高周波電源装置。

【請求項 6】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置において、DC 電圧を出力する DC 電圧検出回路と、DC 電流を出力する DC 電流検出回路と、進行波電力と反射波電力とを検出する高周波電力検出回路と、共振電流を検出する共振電流検出回路と、DC 電圧検出信号が DC 電圧保護レベルを超過したとき負の信号である DC 電圧減算信号を出力する超過 DC 電圧保護回路と、共振電流検出信号が共振電流保護レベルを超過したとき負の信号である共振電流減算信号を出力する超過共振電流保護回路と、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とからパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに負の信号である損失電力減算信号を演算する超過損失電力保護回路と、前記損失電力減算信号又は前記 DC 電圧減算信号又は前記共振電流減算信号を外部設定信号に加算して進行波電力設定信号を抑制する減算信号加算回路とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置。

【請求項 7】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置に対する保護方法において、DC 電圧及び DC 電流及び進行波電力及び反射波電力及びスイッチング素子ベース温度を検出し、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とスイッチング素子ベース温度検出信号とからスイッチング素子接合部温度信号を演算し、前記スイッチング素子接合部温度信号が接合部温度保護レベルを超過したときに負の信号である接合部温度減算信号を演算し、前記接合部温度減算信号を外部設定信号に加算して前記進行波電力設定信号を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法。

【請求項 8】請求項 7 に記載の接合部温度減算信号が、DC 電圧検出信号と DC 電流検出信号との積である DC 電力信号を演算し、進行波電力検出信号から反射波電力検出信号を減算して高周波出力電力信号を演算し、DC

電力信号から高周波出力電力信号を減算してパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力とスイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値との積をスイッチング素子の個数で除して接合部・ベース温度差信号を演算し、前記接合部・ベース温度差信号をスイッチング素子ベース温度検出信号に加えることによってスイッチング素子接合部温度信号を演算し、前記スイッチング素子接合部温度信号が接合部温度保護レベルを超過したときに出力する負の信号であるプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法。

【請求項9】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置に対する保護方法において、DC電圧及びDC電流及び進行波電力及び反射波電力及び共振電流及びスイッチング素子ベース温度を検出し、DC電圧検出信号がDC電圧保護レベルを超過したとき負の信号であるDC電圧減算信号を演算し、共振電流検出信号が共振電流保護レベルを超過したとき負の信号である共振電流減算信号を演算し、DC電圧検出信号とDC電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とスイッチング素子ベース温度検出信号からパワーアンプ損失電力を演算し、前記パワーアンプ損失電力が損失電力保護レベルを超過したときに負の信号である損失電力減算信号を演算し、前記損失電力減算信号又は前記DC電圧減算信号又は前記共振電流減算信号を外部設定信号に加算して前記進行波電力設定信号を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置の保護方法。

【請求項10】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置において、DC電圧を検出するDC電圧検出回路と、DC電流を検出するDC電流検出回路と、進行波電力と反射波電力とを検出する高周波電力検出回路と、スイッチング素子ベース温度を検出するベース温度検出回路と、DC電圧検出信号とDC電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とスイッチング素子ベース温度検出信号とからスイッチング素子接合部温度信号を演算し、前記スイッチング素子接合部温度信号が接合部温度保護レベルを超過したときに負の信号である接合部温度減算信号を演算する超過接合部温度保護回路と、前記接合部温度減算信号を外部設定信号に加算して進行波電力設定信号を抑制する減算信号加算回路とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置。

【請求項11】請求項10に記載した超過接合部温度保護回路が、DC電圧検出信号とDC電流検出信号との積であるDC電力信号を演算するDC電力演算回路及び進行波電力検出信号から反射波電力検出信号を減算して高周波出力電力信号を演算する高周波出力電力演算回路及

びDC電力信号から高周波出力電力信号を減算してパワーアンプ損失電力を演算する損失電力演算回路及び前記パワーアンプ損失電力とスイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値との積をスイッチング素子の個数で除して接合部・ベース温度差信号を演算する接合部・ベース温度差演算回路と、前記接合部・ベース温度差信号をスイッチング素子ベース温度検出信号に加えることによってスイッチング素子接合部温度信号を演算し、前記スイッチング素子接合部温度信号が接合部温度保護レベルを超過したときに負の信号である接合部温度減算信号を演算する超過接合部温度演算回路から構成されるプラズマ発生用高周波電源装置。

【請求項12】進行波電力設定信号から進行波電力検出信号を減算した進行波電力誤差信号によって進行波電力を進行波電力設定信号の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置において、DC電圧を検出するDC電圧検出回路と、DC電流を検出するDC電流検出回路と、進行波電力と反射波電力とを検出する高周波電力検出回路と、共振電流検出信号を検出する共振電流検出回路と、スイッチング素子ベース温度を検出するベース温度検出回路と、DC電圧検出信号がDC電圧保護レベルを超過したとき負の信号であるDC電圧減算信号を出力する超過DC電圧保護回路と、共振電流検出信号が共振電流保護レベルを超過したとき負の信号である共振電流減算信号を出力する超過共振電流保護回路と、DC電圧検出信号とDC電流検出信号と進行波電力検出信号と反射波電力検出信号とスイッチング素子ベース温度検出信号とからスイッチング素子接合部温度信号を演算し、前記スイッチング素子接合部温度信号が接合部温度保護レベルを超過したときに負の信号である接合部温度減算信号を演算する超過接合部温度保護回路と、前記損失電力減算信号又は前記DC電圧減算信号又は前記共振電流減算信号を外部設定信号に加算して進行波電力設定信号を抑制する減算信号加算回路とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマエッチング装置等に用いられるプラズマ発生用高周波電源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図1は、従来技術のプラズマ発生用高周波電源装置（以下、高周波電源という）1及びその周辺装置を示す従来技術ブロック図である。高周波電源1は、ケーブルCB1及び整合器2及びケーブルCB2を介して、プラズマ発生用チャンバ3に高周波電力を供給するための電源装置である。整合器2は、高周波電源1の出力インピーダンス Z_o と、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L （ケーブルCB1及び整合器2及びケーブルCB2及びプラズマ発生用チャンバ3のインピーダ

ンス)とを整合させるための装置である。プラズマ発生用チャンバ3は、高周波電源1から供給された高周波電力によりプラズマを発生させるための装置である。

【0003】整合器2によって、高周波電源1の出力インピーダンス Z_o と、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L とが整合(以下、インピーダンスが整合という)しているときは、高周波電源1から出力されてプラズマ発生用チャンバ3に向かう高周波電力(以下、進行波電力という)が効率よく、プラズマ発生用チャンバ3に供給される。

【0004】しかし、インピーダンスが整合していないときは、進行波電力の一部又は全部が反射してプラズマ発生用チャンバ3から高周波電源1に向かう反射波電力が発生する。また、プラズマ発生用チャンバ3のインピーダンスがプラズマ発生状態によって変動するために、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L は、整合時に比べて、高インピーダンス又は低インピーダンスに変動する。

【0005】高周波電源1は、図1に示すように、DC電源回路4、高周波パルス発振回路5、パワーアンプ6、共振回路7、高周波電力検出回路8、進行波電力設定値・検出値比較回路9、DC電圧検出回路10、共振電流検出回路11、超過DC電圧保護回路12、超過共振電流保護回路13及び超過反射波電力保護回路14より構成される。

【0006】DC電源回路4は、DC電力を出力する電源回路であり、後述するように進行波電力設定値・検出値比較回路9から入力される進行波電力誤差信号 ΔP_s に応じて、出力するDC電力の大きさが変化する。高周波パルス発振回路5は高周波パルス信号を出力する発振回路であり、高周波電源1が出力する高周波電力の発振周波数はこの高周波パルス信号によって設定される。パワーアンプ6は、スイッチング素子等から構成され、高周波パルス発振回路5から出力された高周波パルス信号を、DC電源回路4から供給される電力の大きさに応じて増幅し、高周波電力を出力する電力増幅回路である。共振回路7はパワーアンプ6から出力された高周波電力の基本波信号成分(前述した高周波パルス信号の周波数と同一周波数の正弦波信号成分)のみを通過させる共振回路である。

【0007】高周波電力検出回路8は、共振回路7から出力される高周波電力、すなわち高周波電源1から出力される進行波電力の大きさを検出すると共に反射波電力の大きさを検出し、進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r を出力する検出回路である。減算信号加算回路15は、後述する各保護回路から減算信号が出力されたときに、減算信号を外部設定信号 P_{ex} に加算し進行波電力設定信号 P_s を出力する加算回路である。進行波電力設定値・検出値比較回路9は進行波電力設定信号 P_s と進行波電力検出信号 P_f とを比較し、DC電源

回路4に進行波電力誤差信号 $\Delta P_s (=P_s - P_f)$ を出力する比較回路であり、DC電源回路4の出力を調整することによって、高周波電源1の進行波電力が P_s になるように制御する。

【0008】このように高周波電源1は、高周波電力検出回路8と進行波電力設定値・検出値比較回路9とによってDC電源回路4の出力電力を調整し、パワーアンプ6からの出力を調整し、高周波電源1の進行波電力が進行波電力設定信号 P_s になるように、進行波電力を出力する。

【0009】しかし、前述したようにインピーダンスが整合していないときは、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L が、高インピーダンス又は低インピーダンスに変動する。その結果、 Z_L が高インピーダンスになると、整合時に比べてパワーアンプ6の入力部及び出力部が高電圧になり、 Z_L が低インピーダンスになると、整合時に比べてパワーアンプ6の入力電流及び出力電流が増加する。

【0010】また、パワーアンプ6はインピーダンスが整合している場合に損失電力が最小に近くなるように設計されているので、インピーダンスが整合していないときは、パワーアンプ6の損失電力は増加する。パワーアンプ6の損失電力が増加すると、スイッチング素子の発熱量が増加する。

【0011】ところでパワーアンプ6を構成するスイッチング素子の耐電圧及び許容電流及び使用温度には限界があり、通常はインピーダンスが整合しているときを基準に設計される。そのために、インピーダンスが整合していないときは、耐電圧又は許容電流又は使用温度が限界値を超えることがあるので、単に進行波電力が外部設定信号 P_{ex} の示す大きさになるように制御するだけではなく、スイッチング素子を過電圧及び過電流及び発熱から保護して、スイッチング素子の耐電圧又は許容電流又は使用温度が限界値を超えないようにする必要がある。

【0012】このような保護は、前述した高周波電力検出回路8によって検出した進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r の他、パワーアンプ6の入力信号をDC電圧検出回路10によって検出したDC電圧検出信号 V_i 及びパワーアンプ6の出力信号を共振電流検出回路11によって検出した共振電流検出信号 I_o を用いて行う。以下、従来技術の保護回路について説明する。

【0013】過電圧に対する保護は、図1の超過DC電圧保護回路12によって行う。以下、図2を参照して超過DC電圧保護回路12の例について説明する。図2は、従来技術の超過DC電圧保護回路12の例を示す従来技術の超過DC電圧保護回路接続図である。図中、DC電圧保護レベル設定回路21はDC電圧保護レベル V_{ip} を設定する回路である。超過DC電圧演算回路22は、DC電圧検出信号 V_i とDC電圧保護レベル V_{ip} と

を比較し、 V_i が V_{ip} を超過した場合のみ、超過分($V_i - V_{ip}$)に比例するDC電圧減算信号 $\Delta V_i (< 0)$ を出力する演算回路である。

【0014】図1において、超過DC電圧保護回路12は、DC電圧検出回路10からDC電圧検出信号 V_i が入力され、前述したようにDC電圧検出信号 V_i がDC電圧保護レベル V_{ip} を超過したとき、DC電圧減算信号 $\Delta V_i (< 0)$ を出力する。減算信号加算回路15は、超過DC電圧保護回路12からDC電圧減算信号 $\Delta V_i (< 0)$ が出力されると、外部設定信号 P_{ex} にDC電圧減算信号 $\Delta V_i (< 0)$ を加算することによって進行波電力設定信号 P_s を抑制する。

【0015】なお、後述するように超過共振電流保護回路13から出力される共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ 又は超過反射波電力保護回路14から出力される反射波電力減算信号 $\Delta P_r (< 0)$ を外部設定信号 P_{ex} に加算することによっても進行波電力設定信号 P_s は抑制される。

【0016】すなわち、減算信号加算回路15から出力する進行波電力設定信号 P_s は、 $P_{ex} + \Delta V_i + \Delta I_o + \Delta P_r$ になるので、超過DC電圧保護回路12からDC電圧減算信号 ΔV_i が出力されるとき又は超過共振電流保護回路13から共振電流減算信号 ΔI_o が出力されるとき又は超過反射波電力保護回路14から反射波電力減算信号 ΔP_r が出力されるときには、各保護回路から出力される負の信号分だけ小さな値となる。

【0017】ところで、DC電源回路4が出力するDC電力の大きさは、進行波電力設定値・検出値比較回路9から出力される進行波電力誤差信号 ΔP_s によって変化する。進行波電力設定信号 P_s が小さくなると進行波電力誤差信号 $\Delta P_s = P_s - P_f$ の値が小さくなった分だけ、DC電源回路4から出力するDC電力が小さくなる。DC電源回路4から出力するDC電力が小さくなると、パワーアンプ6から出力する高周波電力及び共振回路7から出力する高周波電力(進行波電力)も小さくなる。すなわち進行波電力設定信号 P_s を抑制することによって、進行波電力誤差信号 $\Delta P_s = P_s - P_f$ も小さくなり進行波電力が小さくなるのでパワーアンプ6入力部のDC電圧が小さくなる。

【0018】このような過電圧保護はDC電圧検出信号 $V_i \leq$ DC電圧保護レベル V_{ip} になるまで行われるので、DC電圧保護レベル V_{ip} を適切な値に設定すれば、パワーアンプ6のスイッチング素子が過電圧から保護される。

【0019】過電流に対する保護は、図1の超過共振電流保護回路13によって行う。以下、図3を参照して超過共振電流保護回路13の例について説明する。

【0020】図3は、従来技術の超過共振電流保護回路13の例を示す超過共振電流保護回路接続図である。図中、共振電流保護レベル設定回路31は共振電流保護レ

ベル I_{op} を設定する回路である。超過共振電流演算回路32は、共振電流検出信号 I_o と共振電流保護レベル I_{op} とを比較し、共振電流検出信号 I_o が共振電流保護レベル I_{op} を超過した場合のみ、超過分($I_o - I_{op}$)に比例する共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ を出力する演算回路である。

【0021】図1において、超過共振電流保護回路13は、共振電流検出回路11から共振電流検出信号 I_o が入力され、前述したように共振電流検出信号 I_o が共振電流保護レベル I_{op} を超過したとき、共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ を出力する。減算信号加算回路15は、超過共振電流保護回路13から共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ が出力されると、外部設定信号 P_{ex} に共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ を加算することによって進行波電力設定信号 P_s を抑制する。

【0022】すなわち、進行波電力設定信号 P_s を抑制することによって、前述の過電圧保護の場合と同様の過程で進行波電力が小さくなり、共振回路7の出力部の共振電流が小さくなる。

【0023】このような過電流保護は、共振電流検出信号 $I_o \leq$ 共振電流保護レベル I_{op} になるまで行われるので、共振電流保護レベル I_{op} を適切な値に設定すれば、パワーアンプ6のスイッチング素子が過電流から保護される。

【0024】次に、スイッチング素子の発熱に対する保護について説明する。スイッチング素子を発熱による破壊から保護するためには、接合部温度を最高使用接合部温度 T_{jp} 以下に制御する必要がある。

【0025】しかし、実際には、接合部温度を直接検出することが不可能であるために、従来技術では、反射波電力を設定値(反射波電力保護レベル P_{rp})以下に制御することによって、スイッチング素子を発熱による破壊から保護している(以下、超過反射波電力保護という)。

【0026】以下、超過反射波電力保護について説明する。高周波電源1の出力インピーダンス Z_o と負荷インピーダンス Z_L とが整合していないとき、反射波電力が生じると共に、パワーアンプ損失電力が増加することによってスイッチング素子接合部温度が上昇する。

【0027】なお、必ずしも、反射波電力の大きさが大きくなれば、スイッチング素子接合部温度の上昇(スイッチング素子損失電力の大きさ)が大きくなるものではない。スイッチング素子損失電力の大きさは、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L の大きさ及び位相によって、様々に変化する。

【0028】また、負荷インピーダンス Z_L が同じ大きさ及び位相ならば、反射波電力の大きさが小さいほど(高周波電源1から出力される進行波電力が小さいほど)、スイッチング素子損失電力が低下することによって、スイッチング素子接合部温度(スイッチング素子損

失電力の大きさ)は低下する。

【0029】したがって、反射波電力の大きさが反射波電力保護レベル P_{rp} に達したとき、反射波電力の大きさを小さくするために高周波電源1の進行波電力を抑制すれば、スイッチング素子損失電力が低下するので、スイッチング素子を発熱による破壊から保護することができる。

【0030】この制御において、反射波電力保護レベル P_{rp} の決定は、実験によって行う。例として、進行波電力設定値 P_s の最大値が2000Wの高周波電源1を考
10 える。まず、進行波電力設定値 P_s の最大値2000Wの設定で、反射波電力保護レベル P_{rp} を十分小さい値、例えば50Wに設定し、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L を変化させながら、高周波電源1から進行波電力を出力させる実験を行い、スイッチング素子が破損しないことを確認する。

【0031】なお、この実験では、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L を様々な大きさ及び位相に変化させて実験を行う。なぜなら、プラズマ負荷のインピーダンスは大きさ及び位相が広い範囲で変化するため、負荷イン
20 ピーダンス Z_L の大きさ及び位相も広い範囲で変化するからである。

【0032】次に、段階的に反射波電力保護レベル P_{rp} を増加させ同様の実験を行い、その結果から、スイッチング素子が発熱によって破損しないような反射波電力保護レベル P_{rp} が決定できる。

【0033】上述の実験によって決定された反射波電力保護レベル P_{rp} を用いて、スイッチング素子の発熱に対する保護を行う。以下、図面を参照して、スイッチング素子の発熱に対する保護について説明する。

【0034】スイッチング素子の発熱からの保護は、図1の超過反射波電力保護回路14によって行う。以下、図4を参照して超過反射波電力保護回路14の例について説明する。

【0035】図4は、従来技術の超過反射波電力保護回路14の例を示す超過反射波電力保護回路接続図である。同図において、反射波電力保護レベル設定回路41は反射波電力保護レベル P_{rp} を設定するための設定回路である。超過反射波電力演算回路42は、反射波電力検出信号 P_r と反射波電力保護レベル P_{rp} とを比較し、反
30 射波電力検出信号 P_r が反射波電力保護レベル P_{rp} を超過した場合のみ、超過分 $(P_r - P_{rp})$ に比例する反射波電力減算信号 $\Delta P_r (< 0)$ を出力する演算回路である。

【0036】図1において、超過反射波電力保護回路14は、高周波電力検出回路8から反射波電力検出信号 P_r が入力され、前述したように反射波電力検出信号 P_r が反射波電力保護レベル P_{rp} を超過したときのみ、反射波電力減算信号 $\Delta P_r (< 0)$ を出力する。

【0037】減算信号加算回路15は、超過反射波電力

保護回路14から反射波電力減算信号 $\Delta P_r (< 0)$ が出力されると、外部設定信号 P_{ex} に反射波電力減算信号 $\Delta P_r (< 0)$ を加算することによって進行波電力設定信号 P_s を抑制する。

【0038】すなわち、進行波電力設定信号 P_s を抑制することによって、前述の過電圧保護の場合と同様の過程で進行波電力が小さくなり、スイッチング素子の損失電力が小さくなるのでスイッチング素子接合部温度は低下する。

【0039】このような反射波電力を抑制する保護は、 $P_r \leq P_{rp}$ になるまで行われるので、反射波電力保護レベル P_{rp} を適切な値に設定すれば、パワーアンプ6のスイッチング素子が発熱による破壊から保護される。

【0040】

【発明が解決しようとする課題】従来技術の超過反射波電力保護において、反射波電力保護レベル P_{rp} を決定する際、高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L を様々な大きさ及び位相に変化させながら、実験を行う必要がありかなりの労力を要する。したがって、保護レベルの決定が容易にできる保護回路を備えた高周波電源1が必要
である。

【0041】また、必ずしも、反射波電力の大きさが大きくなれば、スイッチング素子接合部温度の上昇が大きくなるものではない。高周波電源1の負荷インピーダンス Z_L によっては、反射波電力が設定値を超過する場合もある。この様な場合にも、高周波電源1の進行波電力を抑制するために、必要以上の保護をすることになってしまう。高周波電源1がエッチング処理等で用い
30 られる場合、それまでのプロセスを無駄にしないために、高周波電源1の出力を可能な限り低下させない方が望ましい。したがって、必要以上に高周波電源1の進行波電力を抑制することなく、必要十分な範囲で進行波電力を抑制し、スイッチング素子を発熱による破壊から確実に保護するための回路を備えた高周波電源1が必要である。

【0042】本発明は、前述の問題を解決するための新規な保護回路を備えたプラズマ発生用高周波電源1を提供することを目的とする。

【0043】

【課題を解決するための手段】出願時における請求項1に記載した電源装置の保護方法の発明は、図6に示すように、進行波電力設定信号 P_s から進行波電力検出信号 P_f を減算した進行波電力誤差信号 $\Delta P_s = P_s - P_f$ によって進行波電力を進行波電力設定信号 P_s の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源に対する保護方法において、DC電圧及びDC電流及び進行波電力及び反射波電力を検出し、DC電圧検出信号 V_i とDC電流検出信号 I_i と進行波電力検出信号 P_f と反射波電力検出信号 P_r とからパワーアンプ損失電力

PLを演算し、上記パワーアンプ損失電力PLが損失電力保護レベルPLpを超過したときに損失電力減算信号 ΔPL (<0)を演算し、上記損失電力減算信号 ΔPL (<0)を外部設定信号Pexに加算して進行波電力設定信号Psを $Pex + \Delta PL$ に抑制する減算信号加算回路65とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置61である。

【0044】出願時における請求項2に記載した電源装置の保護方法の発明は、出願時における請求項1の損失電力減算信号 ΔPL (<0)が、図7に示すように、DC電圧検出信号ViとDC電流検出信号Iiとの積であるDC電力信号Piを演算し、進行波電力検出信号Pfから反射波電力検出信号Prを減算することによって高周波出力電力信号Poを演算し、上記DC電力信号Piから上記高周波出力電力信号Poを減算することによってパワーアンプ損失電力PLを演算し、上記パワーアンプ損失電力PLが損失電力保護レベルPLpを超過したときに出力する負の信号であるプラズマ発生用高周波電源装置61の保護方法である。

【0045】出願時における請求項3に記載した電源装置の保護方法の発明は、出願時における請求項1のプラズマ発生用高周波電源61に対する保護方法において、図6に示すように、共振電流を検出する手段と、DC電圧検出信号ViがDC電圧保護レベルVipを超過したときDC電圧減算信号 ΔVi (<0)を演算する手段と、共振電流検出信号Ioが共振電流保護レベルIopを超過したとき共振電流減算信号 ΔIo (<0)を演算する手段とを追加し、DC電圧減算信号 ΔVi 及び共振電流減算信号 ΔIo (<0)を外部設定信号Pexに加算することによっても進行波電力設定信号Psを抑制し、進行波電力を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置61の保護方法である。

【0046】出願時における請求項4に記載した電源装置の保護方法の発明は、図6に示すように、進行波電力設定信号Psから進行波電力検出信号Pfを減算した進行波電力誤差信号 $\Delta Ps = Ps - Pf$ によって進行波電力を外部設定信号Pexの示すに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置において、パワーアンプ入力DC電圧を検出しDC電圧検出信号Viを出力するDC電圧検出回路10と、パワーアンプ入力DC電流を検出しDC電流検出信号Iiを出力するDC電流検出回路60と、共振回路7の高周波出力電力を検出し進行波電力検出信号Pfと反射波電力検出信号Prとを出力する高周波電力検出回路8と、DC電圧検出信号ViとDC電流検出信号Iiと進行波電力検出信号Pfと反射波電力検出信号Prとからパワーアンプ損失電力PLを演算し、上記パワーアンプ損失電力PLが損失電力保護レベルPLpを超過したときに損失電力減算信号 ΔPL (<0)を出力する超過損失電力保護回路614と、上記損失電力減算信号 ΔPL (<0)を外部設定信号Pexに加

算して進行波電力設定信号Psを $Pex + \Delta PL$ に抑制する減算信号加算回路65とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置61である。

【0047】出願時における請求項5に記載した電源装置の保護方法の発明は、出願時における請求項4の超過損失電力保護回路614が、図7に示すように、DC電圧検出信号ViとDC電流検出信号Iiとの積であるDC電力信号Piを演算するDC電力演算回路71及び進行波電力検出信号Pfから反射波電力検出信号Prを減算して高周波出力電力信号Poを演算する高周波出力電力演算回路72及び上記DC電力信号Piから上記高周波出力電力信号Poを減算してパワーアンプ損失電力PLを演算する損失電力演算回路73及び上記パワーアンプ損失電力PLが損失電力保護レベルPLpを超過したときに損失電力減算信号 ΔPL (<0)を出力する超過損失電力演算回路75から構成されるプラズマ発生用高周波電源装置61である。

【0048】出願時における請求項6に記載した電源装置の発明は、出願時における請求項4のプラズマ発生用高周波電源装置61において、共振回路7の出力共振電流を検出し共振電流検出信号Ioを出力する共振電流検出回路11と、DC電圧検出信号ViがDC電圧保護レベルVipを超過したときDC電圧減算信号 ΔVi (<0)を出力する超過DC電圧保護回路12と、共振電流検出信号Ioが共振電流保護レベルIopを超過したとき共振電流減算信号 ΔIo (<0)を出力する超過共振電流保護回路13とを追加し、DC電圧減算信号 ΔVi 及び共振電流減算信号 ΔIo (<0)を外部設定信号Pexに加算することによっても進行波電力設定信号Psを抑制し、進行波電力を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置61である。

【0049】出願時における請求項7に記載した電源装置の保護方法の発明は、図8に示すように、進行波電力設定信号Psから進行波電力検出信号Pfを減算した進行波電力誤差信号 $\Delta Ps = Ps - Pf$ によって進行波電力を進行波電力設定信号Psの示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置に対する保護方法において、DC電圧及びDC電流及び進行波電力及び反射波電力及びスイッチング素子ベース温度を検出し、DC電圧検出信号ViとDC電流検出信号Iiと進行波電力検出信号Pfと反射波電力検出信号Prとスイッチング素子ベース温度検出信号Tbとからスイッチング素子接合部温度信号Tjを演算し、上記スイッチング素子接合部温度信号Tjが接合部温度保護レベルTjpを超過したときに接合部温度減算信号 ΔTj (<0)を演算し、上記接合部温度減算信号 ΔTj (<0)を外部設定信号Pexに加算して進行波電力設定信号Psを $Pex + \Delta Tj$ に抑制することによって、進行波電力を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置81の保護方法である。

【0050】出願時における請求項8に記載した電源装

置の保護方法の発明は、出願時における請求項 7 の損失電力減算信号 ΔPL (< 0) が、図 9 に示すように、DC 電圧検出信号 V_i と DC 電流検出信号 I_i との積である DC 電力信号 P_i を演算し、進行波電力検出信号 P_f から反射波電力検出信号 P_r を減算して高周波出力電力信号 P_o を演算し、上記 DC 電力信号 P_i から上記高周波出力電力信号 P_o を減算してパワーアンプ損失電力 PL を演算し、上記パワーアンプ損失電力 PL とスイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb} との積をスイッチング素子の個数 n で除して接合部・ベース温度差信号 T_{jb} を演算し、上記接合部・ベース温度差信号 T_{jb} をスイッチング素子ベース温度検出信号 T_b に加算してスイッチング素子接合部温度信号 T_j を演算し、上記スイッチング素子接合部温度信号 T_j が接合部温度保護レベル T_{jp} を超過したとき出力する負の信号であるプラズマ発生用高周波電源装置 81 の保護方法である。

【0051】出願時における請求項 9 に記載した電源装置の保護方法の発明は、出願時における請求項 7 のプラズマ発生用高周波電源装置に対する保護方法において、共振電流を検出する手段と、DC 電圧検出信号 V_i が DC 電圧保護レベル V_{ip} を超過したとき DC 電圧減算信号 ΔV_i (< 0) を演算する手段と、共振電流検出信号 I_o が共振電流保護レベル I_{op} を超過したとき共振電流減算信号 ΔI_o (< 0) を演算する手段とを追加し、DC 電圧減算信号 ΔV_i 及び共振電流減算信号 ΔI_o (< 0) を外部設定信号 P_{ex} に加算することによっても進行波電力設定信号 P_s を抑制し、進行波電力を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置 81 の保護方法である。

【0052】出願時における請求項 10 に記載した電源装置の発明は、図 8 に示すように、進行波電力設定信号 P_s から進行波電力検出信号 P_f を減算した進行波電力誤差信号 $\Delta P_s = P_s - P_f$ によって進行波電力を進行波電力設定信号 P_s の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源装置において、パワーアンプ入力 DC 電圧を検出し DC 電圧検出信号 V_i を出力する DC 電圧検出回路 10 と、パワーアンプ入力 DC 電流を検出し DC 電流検出信号 I_i を出力する DC 電流検出回路 60 と、共振回路 7 の高周波出力電力を検出し進行波電力検出信号 P_f と反射波電力検出信号 P_r とを出力する高周波電力検出回路 8 と、スイッチング素子ベース温度を検出しスイッチング素子ベース温度検出信号 T_b を出力するベース温度検出回路 80 と、DC 電圧検出信号 V_i と DC 電流検出信号 I_i と進行波電力検出信号 P_f と反射波電力検出信号 P_r とスイッチング素子ベース温度検出信号 T_b とからスイッチング素子接合部温度信号 T_j を演算し、上記スイッチング素子接合部温度信号 T_j が接合部温度保護レベル T_{jp} を超過したときに接合部温度減算信号 ΔT_j (< 0) を出力する超過接合部温度保護回路 814 と、上記接合部温度減算信号 ΔT_j (< 0) を外部設定信号 P_{ex} に加算して進行波電力設定

信号 P_s を $P_{ex} + \Delta T_j$ に抑制することによって、進行波電力を抑制する減算信号加算回路 85 とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置 81 である。

【0053】出願時における請求項 11 に記載した電源装置の発明は、出願時における請求項 10 の超過接合部温度保護回路 814 が、図 9 に示すように、DC 電圧検出信号 V_i と DC 電流検出信号 I_i との積である DC 電力信号 P_i を演算する DC 電力演算回路 71 及び進行波電力検出信号 P_f から反射波電力検出信号 P_r を減算して高周波出力電力信号 P_o を演算する高周波出力電力演算回路 72 及び上記 DC 電力信号 P_i から上記高周波出力電力信号 P_o を減算してパワーアンプ損失電力 PL を演算する損失電力演算回路 73 及び上記パワーアンプ損失電力 PL とスイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb} との積をスイッチング素子の個数 n で除して接合部・ベース温度差信号 T_{jb} を演算する接合部・ベース温度差演算回路 91 及び上記接合部・ベース温度差信号 T_{jb} にスイッチング素子ベース温度検出信号 T_b を加算してスイッチング素子接合部温度信号 T_j を演算する接合部温度演算回路 92 及び上記スイッチング素子接合部温度信号 T_j が接合部温度保護レベル T_{jp} を超過したときに接合部温度減算信号 ΔT_j (< 0) を出力する超過接合部温度演算回路 94 から構成されるプラズマ発生用高周波電源装置 81 である。

【0054】出願時における請求項 12 に記載した電源装置の発明は、出願時における請求項 10 のプラズマ発生用高周波電源装置 81 において、共振回路 7 の出力共振電流を検出し共振電流検出信号 I_o を出力する共振電流検出回路 11 と、DC 電圧検出信号 V_i が DC 電圧保護レベル V_{ip} を超過したとき DC 電圧減算信号 ΔV_i (< 0) を出力する超過 DC 電圧保護回路 12 と、共振電流検出信号 I_o が共振電流保護レベル I_{op} を超過したとき共振電流減算信号 ΔI_o (< 0) を出力する超過共振電流保護回路 13 とを追加し、DC 電圧減算信号 ΔV_i 及び共振電流減算信号 ΔI_o (< 0) を外部設定信号 P_{ex} に加算することによっても進行波電力設定信号 P_s を抑制し、進行波電力を抑制するプラズマ発生用高周波電源装置 81 である。

【0055】

【発明の実施の形態】従来の反射波電力が一定値以下になるように進行波電力を抑制する代わりに、図 6 に示すようにパワーアンプ 6 の損失電力 PL をあらかじめ定めた損失電力保護レベル PL_p 以下になるように進行波電力を抑制する。後述するようにパワーアンプの発熱量はパワーアンプ損失電力 PL に比例するため、保護レベルの決定に実験を行う必要がなく、進行波電力を必要以上に抑制することなくスイッチング素子を保護することができる。

【0056】具体的には図 6 に示すように、進行波電力設定信号 P_s から進行波電力検出信号 P_f を減算した進

15.

行波電力誤差信号 $\Delta P_s = P_s - P_f$ によって進行波電力を進行波電力設定信号 P_s の示す大きさに維持する手段を備えたプラズマ発生用高周波電源において、パワーアンプ入力DC電圧を検出しDC電圧検出信号 V_i を出力するDC電圧検出回路10と、パワーアンプ入力DC電流を検出しDC電流検出信号 I_i を出力するDC電流検出回路60と、共振回路7の出力共振電流を検出し共振電流検出信号 I_o を出力する共振電流検出回路11と、共振回路7の高周波出力電力を検出し進行波電力検出信号 P_f と反射波電力検出信号 P_r とを出力する高周波電力検出回路8と、上記DC電圧検出信号 V_i がDC電圧保護レベル V_{ip} を超過したとき、DC電圧減算信号 $\Delta V_i (< 0)$ を出力する超過DC電圧保護回路12と、上記共振電流検出信号 I_o が共振電流保護レベル I_{op} を超過したとき、共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ を出力する超過共振電流保護回路13と、DC電圧検出信号 V_i とDC電流検出信号 I_i と進行波電力検出信号 P_f と反射波電力検出信号 P_r とからパワーアンプ損失電力 P_L を演算し、上記パワーアンプ損失電力 P_L が損失電力保護レベル P_{lp} を超過したときに損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を出力する超過損失電力保護回路614と、上記DC電圧減算信号 $\Delta V_i (< 0)$ 又は上記共振電流減算信号 $\Delta I_o (< 0)$ 又は上記損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を外設設定信号 P_{ex} に加算して進行波電力設定信号 $P_s = P_{ex} + \Delta V_i + \Delta I_o + \Delta P_L$ に抑制する減算信号加算回路65とを備えたプラズマ発生用高周波電源装置61である。

【0057】

【実施例】（実施例1）従来技術で述べたように、スイ

$$T_j = R_{jb} \times P_d + T_b \dots \dots \text{（式1）}$$

（式1）は、スイッチング素子接合部温度 T_j とスイッチング素子ベース温度 T_b とスイッチング素子損失電力 P_d との関係を説明するための数式である。

【0060】図5において、スイッチング素子51はパワーアンプ6を構成するスイッチング素子であり、放熱器52はスイッチング素子を冷却するための放熱器である。図5及び式1において、 R_{jb} はスイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値であり、単位電力あたりの温度上昇としてデータシートに記載されている。

【0061】スイッチング素子接合部温度 T_j とスイッチング素子ベース温度 T_b との差は、スイッチング素子

$$P_d = \{ T_j - T_b \} / R_{jb} \dots \dots \text{（式2）}$$

【0063】式2において、スイッチング素子接合部温度 T_j 及び接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb} に、データシート記載の最高使用接合部温度 T_{jp} 及び接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb} を代入し、スイッチング素子ベース温度 T_b を後述するように仮定することによって、スイッチング素子損失電力 P_d の上限値 P_{dp} を求めることができる。求めたスイッチング素子許容損失電力 P_{dp} とスイッチング素子の個数 n との積を損失電力保護レベル P_{lp} と

16

* ッチング素子を発熱による破壊から保護するためには最高使用接合部温度 T_{jp} 以下で使用する必要がある。したがって、スイッチング素子接合部温度 T_j を最高使用接合部温度 T_{jp} 以下になるように高周波電源1の進行波電力を制御する必要がある。また、スイッチング素子接合部温度 T_j は後述するようにスイッチング素子損失電力 P_d に比例する。したがって、最高使用接合部温度 T_{jp} を超過しないようなスイッチング素子の許容損失電力 P_{dp} を求め、測定したスイッチング素子損失電力 P_d が P_{dp} を超過しないように、高周波電源1から出力する進行波電力を制御すれば、スイッチング素子の発熱量が減少し、スイッチング素子を発熱による破壊から保護することができる。

【0058】本発明の第1の実施例では、パワーアンプ6の損失電力 P_L はすべてスイッチング素子によるものであるとして、スイッチング素子損失電力 P_d とスイッチング素子の個数 n との積をパワーアンプ損失電力 P_L （ $P_L = P_d \times n$ ）とする。同様に、パワーアンプ損失保護レベル P_{lp} を $P_{lp} = P_{dp} \times n$ とすることにより、この P_{lp} を用いて保護を行う。具体的には、パワーアンプ損失電力 P_L が後述する損失電力保護レベル P_{lp} 以下になるように、高周波電源61の進行波電力を抑制することによってスイッチング素子を発熱による破壊から保護する。

【0059】以下、損失電力保護レベル P_{lp} の決定方法について詳述する。図5は、スイッチング素子接合部温度 T_j とスイッチング素子ベース温度 T_b とスイッチング素子損失電力 P_d との関係を説明するためのスイッチング素子温度・損失電力説明図である。

* 損失電力 P_d によって生じ、図5及び式1に示すように、スイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb} とスイッチング素子損失電力 P_d との積 $R_{jb} \times P_d$ で与えられ、スイッチング素子接合部温度 T_j はスイッチング素子損失電力 P_d に比例する。

【0062】まず、スイッチング素子接合部温度 T_j が最高使用接合部温度 T_{jp} を超過しないように、スイッチング素子の許容損失電力 P_{dp} を決定する。式1から、スイッチング素子損失電力 P_d をスイッチング素子接合部温度 T_j とスイッチング素子ベース温度 T_b と接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb} によって表すと、式2のようになる。

【0064】例えば、パワーアンプ6が、データシート記載の最高使用接合部温度 $T_{jp} = 150^\circ\text{C}$ 、接合部・ベース間熱抵抗値 $R_{jb} = 1.0\text{W}/^\circ\text{C}$ である4個のスイッチング素子から構成される場合を考える。この場合、スイッチング素子接合部温度 T_j は 150°C まで許容されるので、式2の T_j に $T_{jp} = 150^\circ\text{C}$ を代入する。なお、パワーアンプ6の信頼性を高めるには、 150°C よ

り小さい値を用いればよい。次に、ベース温度 T_b の上限値 T_{bp} を決める。高周波電源61を周囲温度 45°C 以下の環境で使用すると仮定する（最高使用周囲温度を 45°C と仮定）。高周波電源61から進行波電力を出力しているとき、高周波電源61を構成する素子の発熱によって、高周波電源61の筐体内部は、高周波電源61の周囲に比べ温度が高くなる。そこで、高周波電源61の筐体内部温度が高周波電源61の周囲温度より 15°C 高いと仮定する。さらに、スイッチング素子ベース温度は高周波電源61の内部温度よりも 10°C 高いと仮定する。と、スイッチング素子ベース温度の上限値は、 $T_{bp} = 45^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$ となる。これを式2の T_b に代入する。

【0065】すなわち、スイッチング素子ベース温度 T_b の上限値 $T_{bp} = 70^{\circ}\text{C}$ のとき、スイッチング素子接合部温度 T_j が $T_{jp} = 150^{\circ}\text{C}$ まで許容されるのであるから、式2よりスイッチング素子の許容損失電力 P_{dp} は 80W になる。したがって、パワーアンプの許容損失電力は $80\text{W} \times 4\text{個} = 320\text{W}$ となり、パワーアンプ損失電力保護レベル P_{lp} を 320W に相当する値に設定する。

【0066】第1の実施例では、パワーアンプ損失電力 P_L が前述した P_{lp} 以下になるように、高周波電源61の進行波電力を抑制することによって、スイッチング素子損失電力 P_d を減少させ、スイッチング素子を発熱による破壊から保護することができる。

【0067】以下、図面を用いてパワーアンプ損失電力 P_L を用いた保護について説明する。図6は、本発明の第1の実施例を示す第1実施例ブロック図である。図1と比較すると、図6では、従来技術の超過反射波電力保護回路14の代わりに、DC電流検出回路60及び超過損失電力保護回路614が備えられている。 I_i はDC電流検出信号であり、 P_{lp} は前述したパワーアンプ損失電力保護レベルであり、 ΔP_L は損失電力減算信号である。その他の符号については、前述した図1の符号の説明と同様である。

【0068】第1の実施例における発熱に対する保護は、図6の超過損失電力保護回路614によって行う。以下、図7を参照して超過損失電力保護回路614の例について説明する。図7は、本発明に係る超過損失電力保護回路614の例を示す本発明に係る超過損失電力保護回路接続図である。図中、DC電力演算回路71は、DC電圧検出信号 V_i にDC電流検出信号 I_i を乗ずることにより、DC電力信号 P_i を演算するための演算回路である。高周波出力電力演算回路72は、進行波電力検出信号 P_f から反射波電力検出信号 P_r を減算することにより、高周波出力電力 P_o を演算するための演算回路である。損失電力演算回路73は、DC電力 P_i から高周波出力電力 P_o を減算することによって、パワーアンプ損失電力 P_L を演算するための演算回路である。損失電力保護レベル設定回路74は、損失電力保護レベル

P_{lp} を設定するための設定回路である。超過損失電力演算回路75は、パワーアンプ損失電力信号 P_L とパワーアンプ損失電力保護レベル P_{lp} とを比較し、パワーアンプ損失電力 P_L が損失電力保護レベル P_{lp} を超過した場合のみ、超過分 $(P_L - P_{lp})$ に比例する損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を出力する。演算回路である。

【0069】図6において、DC電圧検出回路10がDC電圧検出信号 V_i を、DC電流検出回路60がDC電流検出信号 I_i を、高周波電力検出回路8が進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r を出力したとき、超過損失電力保護回路614は前述のように検出値からパワーアンプ損失電力信号 P_L を演算し、パワーアンプ損失電力 P_L と損失電力保護レベル P_{lp} とを比較し、パワーアンプ損失電力 P_L が損失電力保護レベル P_{lp} を超過したときのみ、損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を出力する。減算信号加算回路65は、超過損失電力保護回路62から損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ が出力されると、外部設定信号 P_{ex} に損失電力減算信号 $\Delta P_L (< 0)$ を加算することによって進行波電力設定信号 P_s を抑制する。すなわち、進行波電力設定信号 P_s を抑制することによって、前述の従来技術における過電圧保護の場合と同様の過程で進行波電力が抑制され、パワーアンプ損失電力 P_L が小さくなりスイッチング素子損失電力 P_d は減少するのでスイッチング素子接合部温度 T_j は低下する。このようなパワーアンプ損失電力 P_L を抑制する保護は、パワーアンプ損失電力 $P_L \leq$ パワーアンプ損失電力保護レベル P_{lp} になるまで行われるので、パワーアンプ損失電力保護レベル P_{lp} を適切な値に設定すれば、パワーアンプ6のスイッチング素子が発熱による破壊から保護される。

【0070】（実施例2）第2の実施例では、DC電圧検出信号 V_i 、DC電流検出信号 I_i 、進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r から演算したスイッチング素子損失電力 P_d とスイッチング素子ベース温度 T_b の検出値とを用いて、式1によって演算したスイッチング素子接合部温度 T_j を最高使用接合部温度 T_{jp} 以下に制御することによって、スイッチング素子を発熱による破壊から保護する。第2の実施例では、接合部温度保護レベルにスイッチング素子の最高使用接合部温度 T_{jp} を用いる。なお、パワーアンプの信頼性を高めるには、接合部温度保護レベルに最高使用接合部温度 T_{jp} より小さい値を用いればよい。

【0071】図8は、本発明の第2の実施例を示す第2実施例ブロック図である。図6と比較すると、図8では、超過損失電力保護回路614の代わりに、超過接合部温度保護回路814が備えられている。また、パワーアンプ6の代わりに温度検出回路付パワーアンプ86及びベース温度検出回路80が備えられている。 T_b はベース温度検出信号、 T_{jp} は前述の最高使用接合部温度（接合部温度保護レベル）であり、 ΔT_j は接合部温度

減算信号である。その他の符号については、前述の図1及び図6における符号の説明と同様である。

【0072】図9は、本発明に係る超過接合部温度保護回路814の例を示す本発明に係る超過接合部温度保護回路接続図である。超過接合部温度保護回路814は、ベース温度検出信号 T_b 及びDC電圧検出信号 V_i 及びDC電流検出信号 I_i 及び進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r から接合部温度 T_j を演算し、 T_j と接合部温度保護レベル T_{jp} とを比較し、接合部温度減算信号 ΔT_j (<0)を出力する保護回路である。

【0073】DC電力演算回路71及び高周波出力電力演算回路72及び損失電力演算回路73の説明は、図7と同様である。接合部・ベース温度差演算回路91は、パワーアンプ損失電力信号 P_L をスイッチング素子の数 n で除したスイッチング素子損失電力 P_d に接合部・ベース間熱抵抗信号 R_{jb} を乗ずることによって、接合部・ベース温度差信号 T_{jb} を演算するための演算回路である。接合部温度演算回路92は、接合部・ベース温度差信号 T_{jb} にベース温度検出信号 T_b を加算することにより、接合部温度 T_j を演算するための演算回路である。接合部温度保護レベル設定回路93は、接合部温度保護レベル T_{jp} を設定するための設定回路である。超過接合部温度演算回路94は、接合部温度信号 T_j と接合部温度保護レベル T_{jp} とを比較し、接合部温度信号 T_j が接合部温度保護レベル T_{jp} を超過した場合のみ、超過分($T_j - T_{jp}$)に比例する接合部温度減算信号 ΔT_j (<0)を出力する演算回路である。

【0074】図8において、DC電圧検出回路10がDC電圧検出信号 V_i を、DC電流検出回路60がDC電流検出信号 I_i を、高周波電力検出回路8が進行波電力検出信号 P_f 及び反射波電力検出信号 P_r を、ベース温度検出回路80がベース温度検出信号 T_b を出力したとき、超過接合部温度保護回路814は前述のように接合部温度信号 T_j を演算し、接合部温度信号 T_j が接合部温度保護レベル T_{jp} を超過したとき、接合部温度減算信号 ΔT_j (<0)を出力する。減算信号加算回路85は、超過接合部温度保護回路82から接合部温度減算信号 ΔT_j (<0)が出力されると、外部設定信号 P_{ex} に接合部温度減算信号 ΔT_j (<0)を加算することによって進行波電力設定信号 P_s を抑制する。すなわち、進行波電力設定信号 P_s を抑制することによって、前述の従来技術における過電圧保護の場合と同様の過程で進行波電力が抑制され、パワーアンプ損失電力 P_L が小さくなりスイッチング素子損失電力 P_d は減少するのでスイッチング素子接合部温度 T_j は低下する。このようなスイッチング素子接合部温度を抑制する保護は、接合部温度信号 $T_j \leq$ 接合部温度保護レベル T_{jp} になるまで行われるので、接合部温度保護レベル T_{jp} を適切な値に設定すれば、パワーアンプ6のスイッチング素子が発熱による破壊から保護される。

【0075】

【発明の効果】第1の実施例では、保護レベル（損失電力保護レベル P_{lp} ）は実験を行うことなく、容易に計算することができるという第1の効果をも有する。

【0076】また、第1の効果に加えて下記の第2の効果も有する。従来技術では反射波電力 P_r の大きさとスイッチング素子接合部温度とに明確な関係がないために、必要十分な範囲で、スイッチング素子の保護を行うことができなかった。一方、第1の実施例では、スイッチング素子接合部温度 T_j はパワーアンプ損失電力 P_L に比例する。そして、パワーアンプ損失電力 P_L がパワーアンプ損失電力保護レベル P_{lp} 以下になるように、高周波電源61から出力する進行波電力を抑制する。そのため、必要十分な範囲で高周波電源61の進行波電力を抑制し、スイッチング素子を発熱による破壊から保護することができるという第2の効果も有する。

【0077】第2の実施例では、保護レベル（接合部温度保護レベル）には最高使用接合部温度 T_{jp} を用いればよいので、保護レベルの決定の際に実験を行う必要がないという第1の効果をも有する。

【0078】また上記第1の効果に加えて、以下の効果も有している。第2の実施例では、検出値から演算した接合部温度 T_j を用いて高周波電源81の進行波電力を抑制し、接合部温度 T_j が最高使用接合部温度 T_{jp} を超過しないようにする保護方法である。そのため、第1の実施例同様、必要十分な範囲で高周波電源1の進行波電力を抑制し、スイッチング素子を発熱による破壊から保護することができるという第2の効果も有する。

【0079】また、前述した第1の実施例では、ベース温度 T_b を高周波電源1の最高使用周囲温度（例えば45℃）として、損失電力保護レベル P_{lp} を決定したのに対して、第2の実施例では、ベース温度 T_b も検出した値を用いて接合部温度 T_j を演算している。したがって、第2の実施例では、上述の効果に加え、高周波電源61が最高使用温度以上の環境で使用されたとしても、スイッチング素子を発熱による破壊から保護することができるという第3の効果も有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、従来技術のプラズマ発生用高周波電源装置1及びその周辺装置を示す従来技術ブロック図である。

【図2】図2は、従来技術の超過DC電圧保護回路12の例を示す従来技術の超過DC電圧保護回路接続図である。

【図3】図3は、従来技術の超過共振電流保護回路13の例を示す超過共振電流保護回路接続図である。

【図4】図4は、従来技術の超過反射波電力保護回路14の例を示す超過反射波電力保護回路接続図である。

【図5】図5は、スイッチング素子接合部温度 T_j とスイッチング素子ベース温度 T_b とスイッチング素子損失

21

電力 P_d との関係の説明するためのスイッチング素子温度・損失電力説明図である。

【図6】図6は、本発明の第1の実施例を示す第1実施例ブロック図である。

【図7】図7は、本発明に係る超過損失電力保護回路614の例を示す本発明に係る超過損失電力保護回路接続図である。

【図8】図8は、本発明の第2の実施例を示す第2実施例ブロック図である。

【図9】図9は、本発明に係る超過接合部温度保護回路814の例を示す本発明に係る超過接合部温度保護回路接続図である。

【符号の説明】

高周波電源1, 61, 81

整合器2

プラズマ発生用チャンバ3

DC電源回路4

高周波パルス発振回路5

パワーアンプ6

共振回路7

高周波電力検出回路8

進行波電力設定値・検出値比較回路9, 69, 89

DC電圧検出回路10

共振電流検出回路11

超過DC電圧保護回路12

超過共振電流保護回路13

超過反射波電力保護回路14

減算信号加算信号15, 65, 85

DC電圧保護レベル設定回路21

超過DC電圧演算回路22

共振電流保護レベル設定回路31

超過共振電流演算回路32

反射波電力保護レベル設定回路41

超過反射波電力演算回路42

スイッチング素子51

放熱器52

DC電流検出回路60

超過損失電力保護回路614

DC電力演算回路71

高周波出力電力演算回路72

損失電力演算回路73

22

* 損失電力保護レベル設定回路74

超過損失電力演算回路75

ベース温度検出回路80

温度検出回路付パワーアンプ86

超過接合部温度保護回路814

接合部・ベース温度差演算回路91

接合部温度演算回路92

接合部温度保護レベル設定回路93

超過接合部温度演算回路94

10 ケーブルCB1

ケーブルCB2

高周波電源1の出力インピーダンス Z_o

負荷インピーダンス Z_L

進行波電力誤差信号 ΔP_s

外部設定信号 P_{ex}

進行波電力設定信号 P_s

進行波電力検出信号 P_f

反射波電力検出信号 P_r

DC電圧検出信号 V_i

20 共振電流検出信号 I_o

DC電流検出信号 I_i

パワーアンプ損失電力 P_L

DC電圧保護レベル V_{ip}

共振電流保護レベル I_{op}

反射波電力保護レベル P_{rp}

パワーアンプ損失電力保護レベル P_{lp}

最高使用接合部温度（接合部温度保護レベル） T_{jp}

DC電圧減算信号 ΔV_i

共振電流減算信号 ΔI_o

30 反射波電力減算信号 ΔP_r

損失電力減算信号 ΔP_L

接合部温度減算信号 ΔT_j

スイッチング素子接合部温度（信号） T_j

スイッチング素子ベース温度（検出信号） T_b

スイッチング素子損失電力（信号） P_d

スイッチング素子接合部・ベース間熱抵抗値 R_{jb}

DC電力信号 P_i

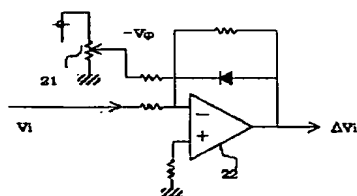
高周波電力信号 P_o

接合部・ベース温度差信号 T_{jb}

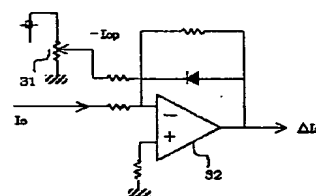
40

*

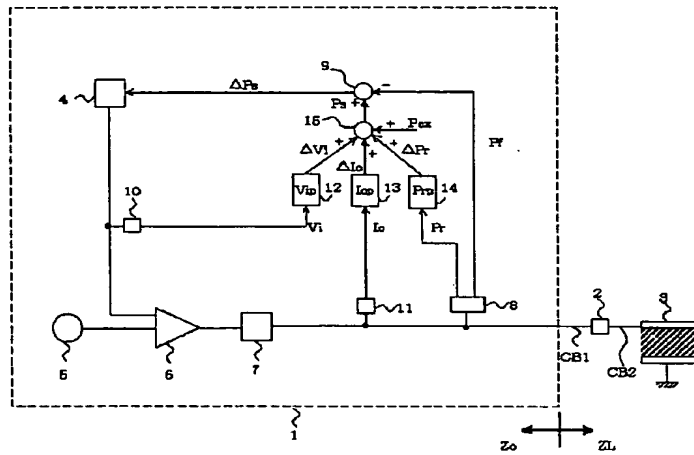
【図2】



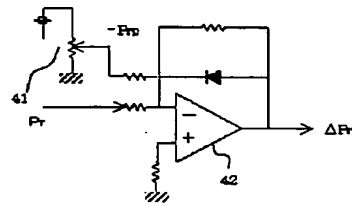
【図3】



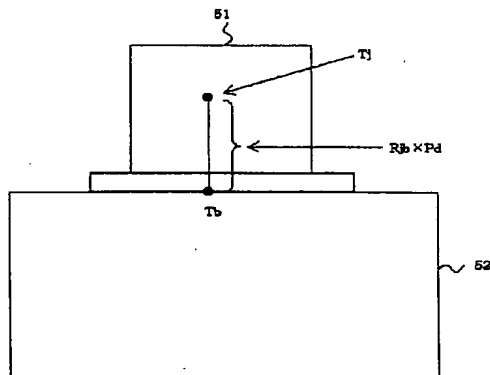
【図1】



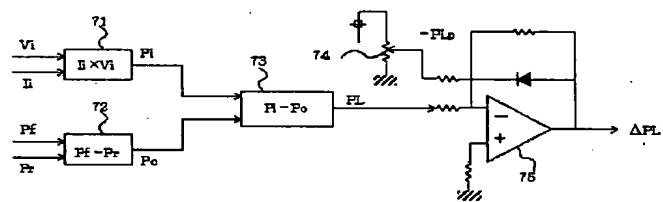
【図4】



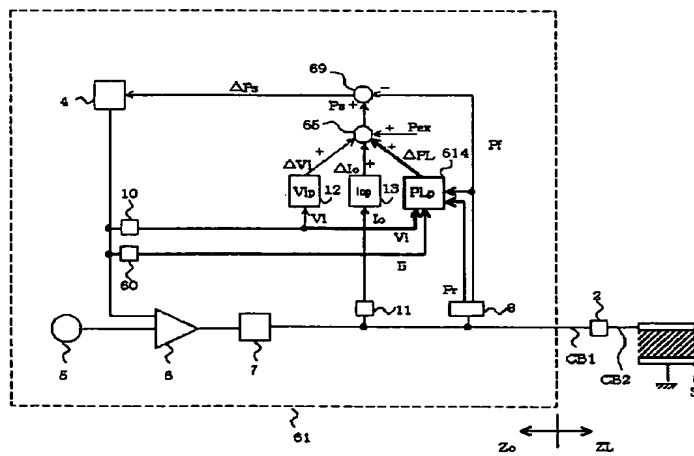
【図5】



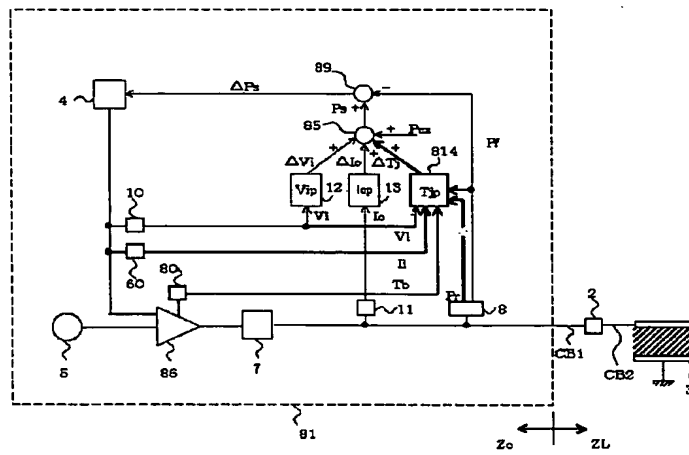
【図7】



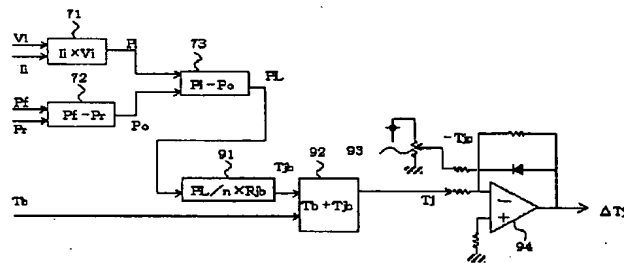
【図6】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 小野 達己
 大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会
 社ダイヘン内

F ターム(参考) 5F004 AA16 BA04 BB11 CA03 CB05